College

高等学校经典教材配套辅导丛书

大学物理

学习指导及典型题详解

徐　浦　编著

◆ 名校名师执笔　◆ 精彩课堂讲义
◆ 梳理知识要点　◆ 辨析易错概念
◆ 典型考题详解　◆ 模拟试卷自测

陕西师范大学出版社

高等学校经典教材配套辅导丛书

大学物理

学习指导与典型题详解

徐 浦 编著

陕西师范大学出版社

图书代号:JF5N0052

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导与典型题详解/徐浦 编著. 一西安:陕西师范大学出版社,2005.2

(高等学校经典教材配套辅导丛书)

ISBN 7－5613－3281－5

Ⅰ.大… Ⅱ.徐… Ⅲ.物理学－高等学校－教学参考资料 Ⅳ.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 007321 号

责任编辑 史 进

装帧设计 王静婧

出版发行 陕西师范大学出版社

社　　址 西安市陕西师大 120#(邮政编码:710062)

网　　址 http://www.snuph.com

经　　销 新华书店

印　　刷 如皋市印刷有限公司

开　　本 787×960 1/16

印　　张 25.5

字　　数 470 千

版　　次 2005 年 2 月第 1 版

印　　次 2005 年 2 月第 1 次印刷

定　　价 29.80 元

开户行:光大银行西安南郊支行　账号:0303070－00330004695

读者购书、书店添货或发现印装问题,请与本社营销中心联系、调换。

电　话:(029)85307864　85233753　85251046(传真)

E-mail:if-centre@snuph.com

前　言

《大学物理》是理工科院校本科教学中一门重要的基础课，对培养和提高学生的科学素质起着其他课程不能替代的作用。而且随着科学技术的发展，许多边缘学科以及高新技术都是以物理学规律为基础发展起来的。因此，理工科学生必须打好物理学基础，才有可能在以后的专业课学习及科研新领域开拓工作中取得较好的成就。

对于刚进入大学低年级的学生来说，由于学习难度增大，教学内容多，进度快，往往会遇到许多困难，一时难以适应。为了帮助学生学好物理学，我们编写了这本指导书，目的是帮助学生深入理解课程内容，理清思路，而且通过解题方法和解题技巧的训练以及问题的思考，使学生了解物理学中的每个细节及其奥妙，从而使学生加深对物理概念、物理规律的理解，学会分析问题和解决问题的方法，开阔思路，进而掌握学习的主动性。

我们在总结长期物理教学经验的基础上，编写了这本《大学物理学习指导及典型题详解》，全书共分十八章，每一章均包含学习的基本要求、内容提要、问题讨论以及解题指导和示例几部分内容。在每一篇的内容之后，提供了具有一定深度和广度的综合训练与自测试题，便于读者进行自我测试和进行综合训练。

在本书的编写过程中，编者除了总结多年的教学经验外，还参考了一些教材和其他参考书，在许多方面得到启发与教益，在此不再一一指明，谨对原书的编著者表示谢意，由于编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编　者

2004 年 1 月

目　　录

1　力　学

2　振动与波动

3　热　学

4　电磁学

5　波动光学

6　近代物理基础

力　学　1

第一章　质点运动学

一、基本要求

1. 正确理解运动参照系的意义，能用适当的坐标系研究质点的运动及其规律.

2. 正确理解运动叠加原理和描述质点运动的位置矢量、位移、速度以及加速度（包括切向加速度和法向加速度）等量的物理意义以及计算方法.

3. 正确理解机械运动的矢量性、瞬时性、叠加性和相对性. 掌握运动合成和相对运动的矢量运算法和分量解析法.

重点：基本概念和基本规律以及由运动方程求速度和加速度的方法.

难点：速度、加速度的矢量性和相对性在具体问题中的应用以及由加速度或速度及初始条件求运动方程问题.

二、内容提要

（一）基本概念

1. *参照系、坐标系、质点*

参照系：描述物体运动时用作参考的其他物体.

坐标系：在参照系上建立标明数量的坐标轴叫坐标系.

质点：在问题的研究过程中，物体的大小和形状可以忽略不计时，就可以把物体看成是一个没有形状和大小的点，物体的质量集中于该点，这样点就称为质点.

2. *位置矢量（矢径）、运动方程、位移*

位置矢量：确定质点位置的物理量.

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$$

运动方程：位置矢量随时间的变化关系称为运动方程.

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

或

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

此为参量形式的运动方程.

由参量形式的运动方程中消去时间参量,即可求得质点运动的轨迹方程. 即

$$f(x,y,z)=0$$

位移:质点在一段时间 Δt 内位置的改变.

$$\Delta \boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t+\Delta t)-\boldsymbol{r}(t)$$

位移是矢量. 在一般情况下,位移的大小不等于路程. $|\Delta \boldsymbol{r}|\neq \Delta s$,在 $\Delta t\rightarrow 0$ 时,才有 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$.

在直角坐标系中,其分量式为

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{r}&=(x_2-x_1)\boldsymbol{i}+(y_2-y_1)\boldsymbol{j}+(z_2-z_1)\boldsymbol{k}\\&=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

3. 速度(即瞬时速度)

速度是描述质点运动快慢和运动方向的物理量.

(1) 平均速度(矢量)　位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 与时间 Δt 之比

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

(2) 平均速率(标量)　路程 Δs 与时间 Δt 之比

$$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

(3) 瞬时速度(矢量)　质点位置矢量对时间的变化率

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

(4) 瞬时速率(标量)　质点路程对时间的变化率

$$v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$$

一般情况下,平均速度的大小不等于平均速率,而瞬时速度的大小等于瞬时速率.

在直角坐标系中,速度的分量式为

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}$$

4. 加速度(即瞬时加速度)

加速度是描写质点运动速度变化快慢的物理量.

(1) 平均加速度(矢量)　速度增量 $\Delta \boldsymbol{v}$ 与时间 Δt 之比

$$\bar{\boldsymbol{a}}=\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

(2) 瞬时加速度(矢量)　质点运动速度对时间的变化率

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$$

在直角坐标系中,加速度的分量式为

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{a} &= \frac{\mathrm{d}\,\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k} \\
&= \frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k} \\
&= a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}
\end{aligned}
$$

在自然坐标系中,加速度的分量式为

$$
\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_n + \boldsymbol{a}_t = \frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{n} + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{t}
$$

式中,$\boldsymbol{n}$— 法线方向的单位矢量

$\boldsymbol{t}$— 切线方向的单位矢量

ρ— 曲线上该点处的曲率半径

(二) 基本规律

1. 运动的叠加原理

任何一种运动可以看成由几种各自独立进行的运动叠加而成. 这也叫运动的独立性原理.

$$
\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_1 + \boldsymbol{v}_2 + \boldsymbol{v}_3 + \cdots
$$

$$
v_x = v_{1x} + v_{2x} + v_{3x} + \cdots = \sum_{i=1}^{n} v_{ix}
$$

$$
v_y = v_{1y} + v_{2y} + v_{3y} + \cdots = \sum_{i=1}^{n} v_{iy}
$$

$$
v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}
$$

$$
\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} v_{iy}}{\sum\limits_{i=1}^{n} v_{ix}}
$$

利用这一原理,可以把复杂的运动分解成若干个简单的运动来处理.

2. 几种常见的运动

(1) 匀加速直线运动

位置

$$
x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2
$$

速度

$$
v = v_0 + at \qquad v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)
$$

(2) 抛体运动(y 轴向上为正)

位置

$$
x = v_0\cos\theta \cdot t, \qquad y = v_0\sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2
$$

速度

$$v_x = v_0 \cos\theta, \qquad v_y = v_0 \sin\theta - gt$$

加速度

$$a_x = 0, \qquad a_y = -g$$

(3) 圆周运动

角速度

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \frac{v}{R}$$

角加速度

$$\beta = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$$

加速度

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_n + \boldsymbol{a}_t$$

法向加速度

$$a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 \qquad \text{(指向圆心)}$$

切向加速度

$$a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = R\beta \qquad \text{(沿切线方向)}$$

角量与线量的关系：

$$v = R\omega \qquad a_t = R\beta \qquad a_n = R\omega^2$$

(4) 相对运动

相对位移

$$\Delta\boldsymbol{r}_{AC} = \Delta\boldsymbol{r}_{AB} + \Delta\boldsymbol{r}_{BC}$$

相对速度

$$\boldsymbol{v}_{AC} = \boldsymbol{v}_{AB} + \boldsymbol{v}_{BC}$$

相对加速度

$$\boldsymbol{a}_{AC} = \boldsymbol{a}_{AB} + \boldsymbol{a}_{BC}$$

式中，$\Delta\boldsymbol{r}_{AC}$、$\boldsymbol{v}_{AC}$ 和 $\boldsymbol{a}_{AC}$ 是质点 A 相对于参照系 C 的位移、速度和加速度；

$\Delta\boldsymbol{r}_{AB}$、$\boldsymbol{v}_{AB}$ 和 $\boldsymbol{a}_{AB}$ 是质点 A 相对于参照系 B 的位移、速度和加速度；

$\Delta\boldsymbol{r}_{BC}$、$\boldsymbol{v}_{BC}$ 和 $\boldsymbol{a}_{BC}$ 是参照系 B 相对于参照系 C 的位移、速度和加速度.

三、问题讨论

1－1 路程 Δs 和位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 有什么区别？$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ 与 $\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ 有何区别？

答 路程是标量，位移是矢量；路程是物体运动经历的实际路径，而位移是物体初末

位置矢量之差，表示物体位置的改变，一般并不是物体所经历的实际路径. 所以一般情况下，两者的数值也不相等，$(\Delta \boldsymbol{r}) \neq \Delta s$. 例如一物体绕半径为 R 的圆周转一周后回来原来位置，其路程为 $2\pi R$，而位移却为零. 只有当物体作单向直线运动时，位移的数值才与路程相同，所以在 $t \to t + \mathrm{d}t$ 时间内，质点的位移 $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 与质点的路程 $\mathrm{d}s$ 数值相等，即 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| = \mathrm{d}s$.

速度 $\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$，是描述质点位置变化快慢和方向的物理量，与质点的运动状态相对应，是矢量，速率 $v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ 是描述质点运动路程随时间变化快慢的物理量，是标量；一般情况下，平均速度和平均速率两者的量值也不相等，$\left|\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}\right| \neq \frac{\Delta s}{\Delta t}$，例如一物体绕半径为 R 的圆周转一周后回到原来位置，平均速度为 0，而平均速率不为零. 只有当质点作速度方向不变的直线运动时，它们的量值才相等. 所以在 $t - t + \mathrm{d}t$ 时间内，质点的瞬时速度 $\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ 才与瞬时速率 $v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ 数值相等，即 $|\boldsymbol{v}| = v$.

1—2 设质点的运动方程为 $x = x(t)$，$y = y(t)$，在计算质点的速度和加速度的大小时，有人先求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$，然后根据公式

$$v = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}, \qquad a = \frac{\mathrm{d}^2 r}{\mathrm{d}t^2}$$

求得 v 和 a 的值，也有人先求出 $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$，$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$ 和 $\frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}$，$\frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}$，再用公式

$$v = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$$

和

$$a = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\right)^2}$$

来求结果，你认为哪一种方法正确？差别在何处.

答 后一种方法正确.

因为位移、速度、加速度是矢量，因此求速度和加速度时应根据矢量求导法则：

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} \qquad \boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}^2 \boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}$$

所以速度

$$v = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$$

加速度

$$a = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\right)^2}$$

前一种方法的错误在于只考虑了矢径 $\boldsymbol{r}$ 的大小随时间 t 的变化，而未考虑 $\boldsymbol{r}$ 的方向随

t 的变化对速度大小的贡献，以及速度方向随 t 的变化对加速度大小的贡献.

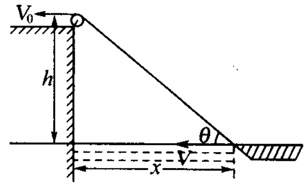
1－3 在离船的高度为 h 的岸边，绞车以恒定的速率 v_0 收拖缆绳，使船靠岸，如图所示. 讨论以下几个问题：

(1) 缆绳上各点的速度是否相同？

(2) 小船运动的速率比 v_0 大还是比 v 小？船是否作匀速运动？

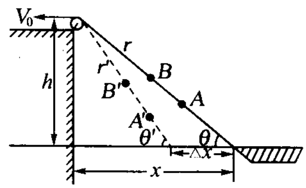
(3) 有人认为船的速度为 $v = v_0\cos\theta$，对不对？为什么？

(4) 还有人认为，若设船为运动的质点，以岸上滑轮处为原点，则 $v_0 = \left|\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$，对不对？$v_0$ 的物理意义是什么？



问题 1－3 图

答 首先要明确收绳速率 v_0 与绳的速度以及船的速度三者之区别与联系.



答 1－3 图

(1) 如图所示，取绳上的两点 A 和 B. 对地面参照系而言，在收绳使船前移过程中，经过一段时间 Δt，A 运动到 A' 处，B 运动到 B' 处，二者移动的距离不同，位移的方向也不同，但时间间隔是相同的，因此绳上各点的移动速度均不相等. 而 v_0 是绳上各点沿绳方向上运动的速率，它不代表绳上各点的运动速率.

(2) 因为小船在水面作直线运动，在小船离岸为 x 处，绳长为 r，则有

$$r^2 = x^2 + h^2 \qquad ①$$

绳收缩速率为 $v_0 = \left|\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|$，小船速率为 $v = \left|\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right|$，因此有

$$v_0 = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\sqrt{x^2+h^2} = \frac{1}{2}\frac{2x}{\sqrt{x^2+h^2}}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

所以有

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v_0$$

由上式可见，$v > v_0$，而且因为 x 随时间不断的变化，所以 v 为变量.

(3) 用 $v = v_0\cos\theta$ 来求船速，这是错误的. 其错误在于：

① 认为船以 v_0 斜向上运动，而 v 只是倾斜向上的 v_0 在水平方向上的分量. 而事实上船是作水平运动，并没有倾斜向上的运动. 由图可见，当船走了 Δx 后，绳子水平面夹角由 θ 变为 θ'，而绳缩短了 Δr，其关系为 $\dfrac{\Delta r}{\Delta x} = \cos\theta$，由于 $v_0 = \left|\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|$，$v = \left|\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right|$. 所以有 $v_0 = v\cos\theta$，而不是 $v = v_0\cos\theta$.

② 虽然绳头的速率为 v_0，但由(1)、(2)两问题的解答可知，由于角 θ 时刻在变化，所以通过定滑轮后绳的速率并不是 v_0，从定滑轮到船头的这段绳上各点的速率均不相同，它即有平动又有绕定滑轮的转动，是这两种运动的合成，因此与船相连处绳尾的速率不是

v_0，故不能用 $v = v_0\cos\theta$ 来求船速.

（4）不对. v_0 是 $\left|\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right|$，是矢径大小的变化率，也就是绳子长短的变化率，可称为收绳速率. 而由矢量分析可知，$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}' - \boldsymbol{r}$，所以 $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq |\Delta r|$，而是 $|\Delta \boldsymbol{r}| = \Delta x$，所以 $\left|\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right| = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v$，而不是 v_0.

1－4 （1）运动物体的加速率越大，则物体的速度也越大；当物体的加速度值很大时，而物体速度的值保持不变是不可能的. 这些说法对吗？

（2）匀加速运动是否一定是直线运动？匀速圆周运动是不是匀加速直线运动？

（3）在什么情况下会有法向加速度？在什么情况下会有切向加速度？

答 （1）不一定. 加速度大只能说明速度的变化大，而并不能说明速度本身也一定很大. 当物体作匀速率圆周运动时，a_n 可以很大，但 v 的值仍然保持不变.

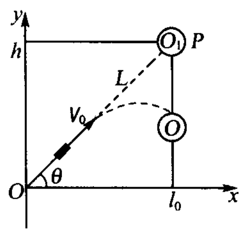
（2）匀加速运动不一定是直线运动，这取决于初速度方向与加速度方向是否一致，若两者一致就是直线运动，如竖直下抛运动；若两者不一致就是曲线运动，如斜抛运动.

匀速圆周运动不是匀加速运动. 因为匀加速运动一般理解为加速度为常值的运动，这要求加速度的大小和方向均不变. 而匀速圆周运动速率不变，但方向时刻在变，其加速度数值不变，但其方向时刻在变，故不是匀加速直线运动.

（3）当速度的方向发生变化时，有法向加速度；当速度的大小发生变化时，有切向加速度.

1－5 一人用枪瞄准挂在活动靶，当子弹从枪口射出时，靶正好被释放，由静止状态开始自由下落，试说明不论子弹的初速率多大，子弹总可以射中靶.

答 以枪口所在处 O 为坐标原点，建立坐标系如图所示.



答 1－5 图

法(一)：以地面为参照系. 设 v_0 为初速度

子弹：

$$x = v_0 t\cos\theta \qquad y = v_0 t\sin\theta - \frac{1}{2}gt^2$$

靶：

$$x' = l_0 \qquad y' = h - \frac{1}{2}gt^2$$

子弹和靶在同一位置，即被击中.

$$x = x' \qquad y = y'$$

所以

$$v_0 t\cos\theta = l_0$$

$$v_0 t\sin\theta - \frac{1}{2}gt^2 = h - \frac{1}{2}gt^2$$

解得

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{h}{l_0}$$

即

$$\theta = \mathrm{arctg}\,\frac{h}{l_0}$$

此方向也就是靶在初始时的位置矢量的方向.

法(二):由相对运动来讨论.

以地面为参照系,子弹和靶的速度分别为

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{g}t \qquad \boldsymbol{v}' = \boldsymbol{g}t$$

以靶为参照系,子弹相对于靶的速度为

$$\boldsymbol{v}_{弹对靶} = \boldsymbol{v}_{弹对地} - \boldsymbol{v}_{靶对地} = \boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}'$$
$$= (\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{g}t) - \boldsymbol{g}t = \boldsymbol{v}_0$$

可见,以靶为参照系来描述子弹的运动时将会看到:子弹以 v_0 作匀速直线运动向靶飞来,在经过 $t = \dfrac{L}{v_0}$ 后,将会击中靶,而与子弹初速率的大小无关.

若误认为必定在抛物轨道的最高点才能击中靶,就难以得证.

1-6 下雨时,有人坐在车内观察车外雨点的运动,试说明在下列情况中,他所观察到的结果.设雨点相对于地面作匀速直线下落.

(1) 车是静止的;

(2) 车以匀速沿水平轨道运动;

(3) 车以匀加速沿水平轨道运动;

(4) 车以匀速率作圆周运动.

答 (1) 车是静止的,车内观察者将看到雨点垂直匀速下落.

(2) 若车以 v 匀速率水平运动,雨以 u 匀速率垂直下落,则车内观察者看到的是两者的合运动,其运动方程是 $x = vt, y = ut$,其轨道方程为$\dfrac{x}{y} = \dfrac{v}{u}$,为倾斜直线.

(3) 若车以匀加速 a 沿水平方向运动,其运动方程为 $x = \dfrac{1}{2}at^2$(设 $v_0 = 0$),$y = ut$,其轨道方程为 $x = \dfrac{1}{2}a\dfrac{y^2}{u^2}$,为一抛物线.

(4) 若车以匀速率 v 作圆周运动,其运动方程是 $y = ut, x^2 + z^2 = R^2$,其轨迹为螺旋线.

1-7 如果有两个质点分别以初速$\boldsymbol{v}_{10}$和$\boldsymbol{v}_{20}$抛出,$\boldsymbol{v}_{10}$和$\boldsymbol{v}_{20}$在同一平面内且与水平面的夹角分别为 θ_1 和 θ_2,有人说,在任意时刻,两质点的相对速度为一常量,你说对吗?

答 对.

在任意时刻 t,两物体都在重力作用下做匀加速直线运动,运动方程具有相同的矢量形式

$$\boldsymbol{v}_1 = \boldsymbol{v}_{10} + \boldsymbol{g}t \qquad \boldsymbol{v}_2 = \boldsymbol{v}_{20} + \boldsymbol{g}t$$

由相对运动可得两质点的相对速度为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{v}' &= \boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1 = (\boldsymbol{v}_{20} + \boldsymbol{g}t) - (\boldsymbol{v}_{10} + \boldsymbol{g}t) \\ &= \boldsymbol{v}_{20} - \boldsymbol{v}_{10}\end{aligned}$$

可见$\boldsymbol{v}'$与t无关,是一常矢量.

四、解题指导和示例

(一) 解题指导

1. 运动学问题的类型

(1) 已知运动方程$\boldsymbol{r}(t)$,求速度$\boldsymbol{v}$和加速度$\boldsymbol{a}$;

(2) 已知速度$\boldsymbol{v}(t)$或加速度$\boldsymbol{a}(t)$的表达式以及初始条件,求运动方程.

2. 解题思路和方法

(1) 对于第一类问题,只需按公式对时间t求导数即可 —— 微分法.

例如,已知某质点的运动方程为

$$\boldsymbol{r} = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j}$$

求质点的速度和加速度.根据定义式,得

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} \qquad \boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}$$

(2) 对于第二类问题,一般应该求解微分方法,在$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t)$的简单情况下,可用通过积分求解 —— 积分法.

例如:已知质点的加速度$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t)$,$t = 0$时,$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0$,$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0$,求质点的运动速度和运动方程.根据定义式

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$$

得

$$\mathrm{d}\boldsymbol{v} = \boldsymbol{a}\mathrm{d}t$$

积分上式并由初始条件确定积分上、下限,得

$$\int_{v_0}^{v}\mathrm{d}\boldsymbol{v} = \int_0^t \boldsymbol{a}(t)\mathrm{d}t$$

有

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \int_0^t \boldsymbol{a}(t)\mathrm{d}t$$

再根据

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t},$$

得